

Helsinki 24.2.2004

10/542058  
Rec'd PCT/PTO 12 JUL 2005  
PCT/FI 03/00992

ETUOIKEUSTODISTUS  
PRIORITY DOCUMENT

RECEIVED

23 MAR 2004

WIPO

PCT



Hakija  
Applicant

Outokumpu Oyj  
Espoo

Patenttihakemus nro  
Patent application no

20030078

Tekemispäivä  
Filing date

17.01.2003

Kansainvälinen luokka  
International class

G01F

Keksinnön nimitys  
Title of invention

"Menetelmä myllyn täyttöasteen määrittämiseksi"

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä Patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.

Marketta Tehikoski  
Apulaistarkastaja

Maksu 50 €  
Fee 50 EUR

Maksu perustuu kaupp- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No. 1027/2001 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and Registration of Finland.

Osoite: Arkadiankatu 6 A  
P.O.Box 1160  
FIN-00101 Helsinki, FINLAND

Puhelin: 09 6939 500  
Telephone: + 358 9 6939 500

Telefax: 09 6939 5328  
Telefax: + 358 9 6939 5328

BEST AVAILABLE COPY

## MENETELMÄ MYLLYN TÄYTTÖASTEEN MÄÄRITTÄMISEKSI

Tämä keksintö kohdistuu menetelmään myllyn täyttöasteen ja myllyn kuorman kohtauskulman määrittämiseksi, jossa menetelmässä käytetään myllyn tehonotossa tai vääntömomentissa esiintyvän värähtelyn taajuustason analyysia.

Autogeeni- ja semiautogeenijauhatukset ovat vaikeasti säädettäviä prosesseja, koska niissä syöte toimii myös jauhinkappaleina, jolloin syötteen vaihtelut vaikuttavat voimakkaasti jauhatuksen tehokkuuteen. Esimerkiksi syötteen kovuuden tai raekoon pienetessä malminkappaleet eivät ole yhtä tehokkaita jauhinkappaleita, mikä vaikuttaa koko jauhatuksen tehokkuuteen.

Perinteisesti jauhatusta on säädetty myllyn tehonoton perusteella, mutta erityisesti autogeeni- ja semiautogeenijauhatuksessa tehonotto on hyvin herkkä eri parametreille. Myllyn täyttöaste prosentteina myllyn tilavuudesta onkin havaittu olevan huomattavasti stabiilimpi ja myllyn tilaa paremmin kuvaava suure. Mutta koska täyttöasteen määrittäminen on-line-mittauksella, tyydytään usein mittaamaan kuorman massaa. Massan mittauksessa on kuitenkin omat ongelmansa asennuksessa ja ryömimisessä. Lisäksi kuorman tiheys voi vaihdella voimakkaasti, jolloin massan muutokset eivät välttämättä johdu täyttöasteen muutoksista.

FI-patentista 87114 tunnetaan tapa ja laite myllyn täyttöasteen mittaamiseksi, jossa mittauksessa käytetään myllyn sähkömoottoriin kohdistuvia vaihteluita. FI-patentin 87114 mukaisesti täyttöasteen mittauksessa käytetään myllyn vaipan nostopalkkien aiheuttamaa ja myllyn sähkömoottoriin kohdistuvaa vakiotaajuista tehonvärähtelyä niin, että myllyn vaipan nostopalkkien ja jauhettavan massan iskeytymishetken määrittämiseksi mitataan myllyn tehonvärähtelypiikkien siirtymä ajan suhteen. Mittausten synkronoimiseksi myllyn kehän ulkopuolelle on asennettu mittaasanturi ja myllyn kehälle anturia vastaava vastakappale. FI-patentin 87114 mukainen menetelmä vaatii kuitenkin toimiakseen olennaisen vakion pyörimisnopeuden.

Esiliäoievan keksinnön tarkoituksena on poistaa tekniikan tason mukaisia haittapuolia ja aikaansaada entistä parempi menetelmä myllyn täyttöasteen määrittämiseen, jossa käytetään myllyssä esiintyvän värähtelyn taajuustason analyysia ja joka on riippumaton myllyn pyörintänopeudesta. Menetelmä tuottaa lisämittauksena myllyn kuorman kohtauskulman. Keksinnön olennaiset tunnusmerkit selviävät oheisista patenttivaatimuksista.

Keksinnön mukaisessa menetelmässä käytettävä värähtely, kuten tehoon tai vääntömomenttiin kohdistuva värähtely, syntyy myllyn nostopalkkien iskeytyessä myllyssä olevaan kuormaan. Myllyn pyöriessä jauhettavasta massasta koostuvan myllyn kuorman kohtauspiste myllyn kehällä siirtyy myllyn tilan, kuten täyttöaste tai pyörimisnopeus, vaihdellessa, jolloin myös värähtelyn vaihe muuttuu. Värähtelyn taajuustason analyysin suorittamisessa käytetään hyväksi myllyn ympyrän muotoista poikkileikkausta, jolloin poikkileikkauksen keskipisteen ja samalla myllyn pyörintäakselin kautta piirretään sekä vaakasuuntainen että pystysuuntainen akseli. Vaakasuuntaisen ja pystysuuntaisen akselin avulla määritettyä koordinaatistoa käytetään myllyn kehällä tapahtuvien muutosten mittamiseen. Käyttämällä värähtelyn taajuustason analyysia värähtelyn vaihe saadaan laskettua. Värähtelyn vaiheen avulla on edelleen laskettavissa poikkileikkauskoordinaatistossa myllyn kuorman kohtauskulma myllyn poikkileikkauskoordinaatiston vaakasuoraan akseliin nähden.

Keksinnön mukaisesti edullisesti esimerkiksi tehovärähtelyn taajuustason analyysi suoritetaan ns. Fourier-muunnoksen avulla. Taajuustason analyysiä tehtäessä on oletuksena, että tehonvärähtelyn signaali on tasavälistä myllyn kiertokulman suhteen yhdeltä kokonaiselta kierrokselta. Mikäli myllyn pyörintänopeus on vakio, kiertokulman suhteen tasavälinen signaali on samalla ajan suhteen tasavälinen. Mutta jos myllyn pyörintänopeus vaihtelee, tasaisin aikavälein mitattu signaali ei ole tasavälistä myllyn kiertokulman suhteen. Tällöin tehonvärähtelyn taajuus muuttuu jatkuvasti ja tehonvärähtelyn taajuusanalyysi ei ole tarkka.

Jotta keksinnön mukaisesti kohtauskulman ja täyttöasteen määrittäminen olisi riippumaton pyörimisnopeudesta, tulee nopeusvaihtelut kompensoida, mikäli käytössä on tasaisin aikavälein kerättyä tehosiinaalia eikä oletuksen mukaista  
 5 kiertokulman suhteen tasavälistä signaalia.

Keksinnön mukaisesti myllyn pyörimisnopeuden kompensoimiseksi ja myllyn täyttöasteen ja kuorman kohtauskulman saattamiseksi myllyn pyörimisnopeusvaihteluista riippumattomaksi kerätään vakionäytteenottovälillä 1 – 20 ms myllyn  
 10 tehosta näytteitä ja samanaikaisesti kerätään samalla vakionäytteenottovälillä näytteitä myllyn kiertokulmasta. Myllyn kiertokulma on kulma, jonka mylly on kiertänyt/pyörähtänyt myllyn pyörintäakselin ympäri kierroksen alkuhetkestä lähtien. Myllyn kiertokulman mittaukseen sopivia antureita ovat absoluuttiset kulma-anturit sekä lähestymisanturit ja  
 15 etäisyysanturit, jotka havaitsevat myllyn kiertokulman ulkopinnan geometrisista muodoista. Mikäli kiertokulmaa ei ole mitattu jollekin näytehetkelle, puuttuva kiertokulman arvo saadaan laskettua interpoloimalla mitatuista arvoista. Näin saadaan syntymään käytettävistä olevista, vakionäytteenottovälillä saaduista, tehon ja kiertokulman arvoista tehon funktio kiertokulman suhteen. Tästä funk-  
 20 tiosta saadaan laskettua lineaarisesti interpoloimalla kiertokulman suhteen tasavälinen näytejono, jota käytetään tehovärihtelyn taajuustason analyysissä.

Keksintöä selostetaan lähemmin seuraavassa viitaten oheiseen piirustukseen, joka esittää myllyn poikkileikkausta sekä poikkileikkaukseen piirrettyä (x,y)-  
 25 koordinaatistoa, jonka origo on myllyn pyörintäakselilla.

Kuviossa myllyn 5 pyörintä tapahtuu suunnassa, joka on esitetty nuolella 6. Myllyn pyörintäakselille 8 on asennettu (x,y)-koordinaatisto, jonka avulla myllyn sisässä oleva, jauhettavasta massasta koostuva myllyn kuorman 1 asento esi-  
 30 tetään. Myllyn 5 ollessa toiminnassa mylly pyörii suuntaan 6 myllyn pyörintäakselin 8 ympäri, jolloin myllyn 5 kiertokulma kasvaa myllyn kierroksen aikana kierroksen alkuhetkestä lähtien, joka kuvaa kuviossa (x,y)-koordinaatiston x-

akseli. Myllyn kuorma 1 liikkuu pyörimisen mukaisesti kuitenkin niin, että myllyn 5 seinämän 7 ja kuorman 1 välinen kohtauspiste 4 (engl. toe) pysyy olennaisesti paikallaan. Kohtauspiste 4 pysyy olennaisesti paikallaan, koska kuorman 1 se osa, joka on ylimpänä (x,y)-koordinaatistossa putoaa alaspäin, kun taas kuor-  
 5 man 1 se osa, joka on alimpana (x,y)-koordinaatistossa nousee seinämää 7 pitkin ylöspäin kohti kuorman ylintä osaa. Myllyn kuorman 1 ja myllyn seinämän 7 välinen kohtauskulma  $\phi_k$  (engl. toe angle) määritetään kohtauspistettä 4 käyttäen. Myllyn 1 seinämää 7 liitettyjä nostopalkkeja, kuten nostopalkkeja 2 ja 3, käytetään kuorman 1 nostamiseen.

10

Nostopalkkien aiheuttaman tehovärähtelyn vaihe  $\theta$  lasketaan käyttämällä kiertokulman suhteen tasavälistä ja yhden kierroksen tehon perusteella saatua näytejonoa  $P(n)$  seuraavan yhtälön (1) avulla

$$15 \quad \theta = \arg \left[ \sum_{n=0}^{N-1} P(n) \exp \left( \frac{-2\pi i n N_n}{N} \right) \right] \quad (1)$$

missä  $i = \sqrt{-1}$  = imaginääriluku

$\arg z = \arctan \frac{\text{Im } z}{\text{Re } z}$  = kompleksiluvun  $z$  napakulma eli argumentti,

$N$  = näytteiden lukumäärä näytejonossa  $P(n)$ ,

20

$N_n$  = myllyn nostopalkkien lukumäärä,

$n$  = näytteen numero, ja

$\theta$  = nostopalkkien aiheuttaman värähtelyn vaihe.

Kohtauskulma lasketaan nostopalkkien aiheuttaman tehovärähtelyn vaiheesta  $\theta$   
 25 seuraavasti yhtälön (2) avulla

$$\phi_k = \frac{2\pi(k_n + 1) - \theta}{N_n} + \phi_n \quad (2)$$

missä  $k_n$  = nostopalkkien lukumäärä, joka jää x-akselia lähimpänä olevan

30

nostopalkin 3 ja kohtauspistettä 4 lähimpänä olevan nostopalkin 2 väliin,

$\phi_k$  = kohtauskulma, ja

$\phi_n$  = kulma x-akselilta x-akselia lähimpänä olevaan nostopalkkiin 3 siten, että arvo on positiivinen myllyn pyörimissuuntaan 6.

Nostopalkkien 2 ja 3 välille jäävien nostopalkkien määrä  $k_n$  on tuntematon, mutta koska kohtauskulma on tavallisesti välillä 180 – 270 astetta,  $k_n$  voidaan rajoittaa välille ( $\frac{1}{2} N_n$ ,  $\frac{3}{4} N_n$ ). Näin mahdollisten kohtauskulman  $\phi_k$  arvojen määrä supistuu, ja lisäksi koska nostopalkkien 2 ja 3 välille jäävien nostopalkkien määrä  $k_n$  on aina kokonaisluku, mahdollisia kohtauskulman  $\phi_k$  arvoja on vain  $\frac{1}{4} N_n$  kappaletta. Näistä vaihtoehtoista oikea arvo on helppo valita, koska muut arvot  
10 kuvaavat ääriolosuhteita, jotka eivät ole todennäköisiä.

Täyttöaste saadaan laskettua yhtälössä (2) määritetystä kohtauskulmasta ja myllyn pyörintänopeudesta eri matemaattisten mallien avulla, kuten esimerkiksi Julius Kruttschitt Mineral Research Center'n (JKMRC) kehittämän mallin avulla.  
15 Tämä malli on tarkemmin esimerkiksi kirjassa Napier-Munn, T., Morrell, S., Morrison, R., Kojovic, T., Mineral Comminution Circuits, Their Operation and Optimisation. Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, University of Queensland, Indooroopilly, Australia, 1999. JKMRC-mallin laskentayhtälö myllyn täyttöasteelle on esitetty yhtälössä (3)

20

$$\begin{cases} n_{c,i+1} = 0,35(3,364 - V_i) \\ V_{i+1} = 1,2796 - \frac{\phi_{loe} - \frac{\pi}{2}}{2,5307(1 - e^{-19,42(n_{c,i+1} - n_p)})} \end{cases} \quad (3),$$

jossa täyttöaste määritetään iteroimalla myllyn täyttöastetta myllyn sisätilavuuteen nähden. Yhtälössä (3)  $n_c$  on kokeellisesti laskettu osuus myllyn kriittisestä  
25 nopeudesta, jolloin sentrifugointi on täydellistä, ja  $n_p$  on myllyn pyörimisnopeus suhteessa kriittiseen nopeuteen ja  $V_i$  on myllyn edellinen ja  $V_{i+1}$  määrättävä myllyn täyttöaste suhteessa myllyn sisätilavuuteen.

Keksinnön mukaisesti määritettyä täyttöastetta voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi myllyn kuulapanoksen laskennassa eri matemaattisten myllyn tehonottoa kuvaavien mallien avulla, kun lisäksi otetaan huomioon myllyn teho. Kuulapanoksen tarkkuutta voidaan edelleen parantaa, kun määrittämisessä huomioidaan myllyn kuorman massa ja/tai tiheys. Lisäksi täyttöastetta voidaan käyttää myös myllyn ja/tai jauhatuksen säätöön, optimointiin ja valvontaan sekä ylikuormitustilanteiden välttämiseen.

Keksinnön mukaisessa menetelmässä täyttöasteen määrittämisessä käytettyä myllyn kuorman kohtauskulmaa voidaan lisäksi hyödyntää myllyn säädössä, kun lisäksi tunnetaan jauhinkappaleiden iskeytymispiste myllyn seinämällä. Tämä iskeytymispiste voidaan laskea eri matemaattisten jauhinkappaleiden lentorataa kuvaavien mallien avulla, joihin vaikuttaa mm. myllyn pyörimisnopeus, myllyn vuoraus sekä jauhinkappaleiden koko. Koska jauhatus on tehokkainta, kun jauhinkappaleet iskeytyvät kuorman kohtauspisteeseen, voidaan jauhatustehokkuuden optimoiva pyörimisnopeus laskea, kun kohtauskulma ja iskeytymispiste tunnetaan.

## PATENTTIVAATIMUKSET

1. Menetelmä myllyn täyttöasteen ja kuorman kohtauskulman ( $\phi_k$ ) määrittämiseksi, jossa käytetään myllyn sähkömoottoriin kohdistuvia värähtelyitä jauhetta-  
5 vasta massasta koostuvan myllyn kuorman kohtauspisteen (4) määrittämiseksi, **tunnettu** siitä, että saaduista mittauksista ( $P(n)$ ) määritetään myllyn värähtelyn vaihe ( $\theta$ ) taajuustason analyysia käyttäen ja että myllyn värähtelyn vaiheen ( $\theta$ ) avulla määritetään kuorman kohtauskulma ( $\phi_k$ ).
- 10 2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että myllyn värähtelyn taajuusanalyysissä käytetään myllyn tehoon liittyvää värähtelyä.
3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että myllyn värähtelyn taajuusanalyysissä käytetään myllyn vääntömomenttiin liittyvää värähtelyä.  
15 telyä.
4. Patenttivaatimuksen 2 tai 3 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että myllyn tehovärähtelyn taajuustason analyysi suoritetaan Fourier-muunnoksen avulla.
5. Jonkin edellä olevan patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu**  
20 siitä, että myllyn täyttöasteen ja kuorman kohtauskulman ( $\phi_k$ ) saattamiseksi myllyn pyörimisnopeusvaihteluista riippumattomaksi jokaisessa mittauksessa mitataan senhetkinen myllyn kiertokulma ja tällä kiertokulmamittauksella otetaan huomioon nopeuden vaihtelut taajuustasossa analysoitavassa signaalissa.
- 25 6. Jonkin edellä olevan patenttivaatimuksen 1-4 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että kiertokulman mittauksessa mitataan osa myllyn kiertokulmista ja osa laskemalla lineaarisesti interpoloimalla mitatuista kulmista.
7. Jonkin edellä olevan patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu**  
30 siitä, että täyttöasteen määrittämisessä kuorman kohtauskulman avulla käytetään matemaattista mallia, kuten JKMRC-mallia.



8. Jonkin edellä olevan patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että myllyn täyttöasteen määrittämisessä käytettyä tehomittausta sekä täyttöastetta sinänsä käytetään hyväksi myllyn kuulapanoksen laskemiseksi.

- 5 9. Jonkin edellä olevan patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että myllyn täyttöasteen määrittämisessä käytettyä myllyn kuorman kohtauskulmaa voidaan käyttää hyväksi myllyn jauhatustehokkuuden parantamiseksi, kun jauhinkappaleiden iskeytymispiste on määritetty matemaattisen mallin avulla.

## (57) TIIVISTELMÄ

Keksintö kohdistuu menetelmään myllyn täyttöasteen ja kuorman kohtauskulman ( $\phi_k$ ) määrittämiseksi, jossa käytetään myllyn sähkömoottoriin kohdistuvia värähtelyitä jauhettavasta massasta koostuvan myllyn kuorman kohtauspisteen määrittämiseksi. Keksinnön mukaisesti myllyn tehoon tai vääntömomenttiin kohdistuvien värähtelyiden mitauksista ( $P(n)$ ) määritetään myllyn värähtelyn vaihe ( $\theta$ ) taajuustason analyysia käyttäen ja että myllyn värähtelyn vaiheen ( $\theta$ ) avulla määritetään kuorman kohtauskulma ( $\phi_k$ ).

LG

